

# 长输管道站场防爆电气系统与雷电防护整合优化

夏照江（国家管网西气东输苏浙沪输气分公司，江苏 南京 210000）

**摘要：**本文针对长输管道站场的安全运营需求，探讨了防爆电气系统与雷电防护措施的整合优化策略。通过分析长输管道站场在复杂环境下的安全挑战，明确了防爆电气系统设计与雷电防护技术结合的必要性，旨在提高站场的综合防护能力，减少因电气故障或雷击引起的爆炸风险。文章提出了一套系统性的设计原则、技术融合方案及风险管理方法，并通过具体案例分析验证其有效性和实用性，最后给出了实施建议与对未来技术发展的展望。

**关键词：**长输管道站场；防爆电气系统；雷电防护；整合优化

## 0 前言

长输管道，作为国家能源动脉，承载着至关重要的输送任务，其站场的安全运作不仅是能源供应链条稳定性的基石，也是国家安全与社会经济秩序的保障。然而，站场内部错综复杂的电气设备布局与严苛刻的自然环境，尤其是频繁雷电活动区域的存在，无疑加剧了作业的挑战，提升了安全风险等级。这迫切要求我们在防爆电气系统设计与雷电防护之间寻求一个深度的整合优化，以确保系统的安全运行，确保能源输送无忧。

防爆电气系统与雷电防护的必要性不容忽视。在长输管道站场的日常运营中，电气设备一旦发生故障，就可能变为引爆周围易燃气的导火种，酿成灾难。而雷电，则是诱发这类电气故障乃至火灾爆炸的隐形推手，外在威胁。因此，建立一个既稳固的防爆电气系统又强化雷电防护机制，是站场安全防线的首要基石。

本研究的目的是通过挖掘并提出一套科学、合理的策略，将防爆电气系统与雷电防护技术完美融合，形成一个全方位、高效的防护体系，以此提升长输管道站场面对灾害的防御力及紧急情况下的快速响应能力。简而言之，研究的核心在于寻找那把理论与实践的桥梁，让科技真正服务于安全，守护能源输送的每一道关卡口。

## 1 防爆电气系统与雷电防护的整合优化策略

### 1.1 系统设计原则

在构思与规划防爆电气系统与雷电防护整合方案时，首要遵循的原则是“风险最小化”，这一核心思想指导着设计者在每一个细节处都力求消除或减少可能引发安全事故的因素，确保无论在何种运行条件下，站场都能保持最高水平的安全性和稳定性。为了实践这一原则，设计过程中需严密考虑以下几点：

### 1.1.1 遵循国际国内防爆标准匹配设备

设计之初，必须严格遵守如 IECEx（国际电工委员会防爆认证体系）和 NEC（美国国家电气规范）等国际和国家标准中关于防爆设备的分类规定。这意味着所有电气设备与元器件的选择和安装均需与站场实际存在的爆炸性气体或粉尘环境等级相匹配。例如，在那些正常操作过程中有可能出现爆炸性气体的 1 区环境中，设计应选用隔爆型（d 型）或增安型（e 型）设备，这两种类型设备分别通过物理隔绝爆炸源或提高设备安全性能来防止点燃源的形成，从而有效遏制爆炸风险。

### 1.1.2 科学划分雷电防护等级

依据站场的具体地理位置、历史雷电活动数据以及周边环境特点，进行精细化的雷电防护等级划分，并据此部署相应级别的防雷装置。防护措施通常分为多个层级，如第一层级（LPZ0A 至 LPZ0B）主要依靠外置的避雷针或避雷带，用于直接拦截并分散雷电放电，避免直击；第二层级（LPZ1）则通过安装防雷器等装置，防止雷电感应过电压对内部敏感电气设备造成损害，确保系统内的电子设备得到充分保护。

### 1.1.3 优化电气线路设计

在电气线路的布局上，追求简洁明了，尽量减少线路交叉和冗余，以利于日常的维护与检查。同时，采用阻燃电缆和防爆接线箱作为标配，能够有效防止电气火花的产生和传播，还大大增强了系统的整体雷电防护效能。这些措施的落实，确保了即使在极端情况下，也能最大限度地控制火源，减少火灾和爆炸的风险，为站场的安全稳定运行提供坚实的物理屏障。

系统设计时坚持风险最小化原则，通过对防爆设备的精确匹配、雷电防护的科学分级以及电气线路的优化布局，为站场构建了一套全面而高效的安全防护

体系，确保作业环境安全可控。

### 1.2 技术融合方案

技术融合是推动防爆与雷电防护领域迈向更高效、智能化整合的关键路径。本方案深入探讨了几个核心策略，目的是通过技术创新与集成，构建一个既安全又高效的防护体系。

在爆炸性环境作业中，采用高性能的防爆型断路器是基础也是关键。这类设备设计精密，能够承受极端条件下的电力波动，确保在检测到异常电流时迅速而安全地切断电源，从而有效阻止可能由电气故障引起的爆炸事故。此外，集成隔离变压器作为另一项重要措施，通过物理隔离手段将电源侧与负载侧的电气故障隔离开来，显著降低了因短路或其他电气事件导致的电火花风险，进一步增强了系统的安全性。

随着大数据分析传感技术的进步，智能雷电预警系统的引入为雷电防护提供了前瞻性的解决方案。该系统集成了高灵敏度的雷电探测传感器与先进的数据分析算法，能够实时捕捉雷电活动的动态变化，并通过复杂的预测模型提前发布雷电预警信息。预警信号触发后，系统自动与防雷装置联动，采取一系列预防措施，例如临时关闭非紧急运行的设备以减少雷击风险，或是优化电网布局，分散雷电能量的冲击效应，极大地减轻了雷电对设施的损害。

物联网（IoT）技术的融入，为防爆与雷电防护体系带来了革命性的变革。通过部署广泛的传感器网络，各类关键参数如电流、电压、环境温湿度以及雷电活动等数据得以实时采集与传输至中央管理系统。运维团队可以借助云端平台，远程监控整个防护系统的运行状态，实现数据的可视化分析，快速识别并诊断潜在的安全隐患。这种即时反馈机制既提升了应急响应的速度，还优化了维护计划，确保了系统的持续稳定运行和最大化效能。

技术融合方案通过集成先进防爆设备、部署智能雷电预警系统以及应用物联网技术，构建了一个全方位、智能化的防护体系，有效提升了防爆与雷电防护的综合效能，为工业及重要设施的安全运营提供了坚实的技术支撑。

### 1.3 风险评估与管理

风险评估与管理是确保防爆电气系统与雷电防护有效性与适应性的核心环节，其目的在于识别、评估潜在威胁，并采取相应措施予以缓解或消除，持续提升防护体系的可靠性和效率。

组织具备专业资质的团队，定期对站场进行防爆

区域的划分与雷电风险的全面评估。这一过程不仅涉及现场勘查，还包括运用科学工具和模型进行定量分析，如采用 LEMP（Lightning Electromagnetic Pulse，闪电电磁脉冲）分析模型来精确评估雷电活动对站场设施的潜在影响。通过这些量化手段，确保评估结果的科学性和准确性，为后续防护措施的制定提供坚实依据。

基于历史评估数据和实时监测信息，构建一个全面的风险数据库。这个数据库应包含但不限于雷电活动记录、设备故障历史、防爆区划分详情等，旨在为未来的风险趋势预测、设计优化、以及应急预案的精细化定制提供详实的数据支持和参考。

针对评估识别出的不同风险等级，精心设计并实施相应的应急处置流程和快速恢复计划。这包括但不限于明确人员紧急疏散路径、设备自动或手动紧急停机程序、以及灾后恢复的操作指南，确保在发生突发事件时，能够迅速启动预设程序，有序高效地执行应急操作，最大限度减少损失并尽快恢复正常运营。

采用动态风险管理策略，强调对风险因素的持续监测与评估。这意味着需紧跟技术进步与环境变化，定期复审现有的防护措施与应急预案的有效性，及时根据新出现的风险挑战、技术革新或法律法规更新，调整和优化防护策略。这种灵活性和前瞻性确保了防护体系能够持续适应复杂多变的外部环境，有效抵御未来可能出现的各种威胁。

通过上述严谨且系统的风险评估与管理策略的实施，长输管道站场的防爆电气系统与雷电防护能力将得到显著增强，为站场的长期安全稳定运行构建起坚固的防线，有力保障能源输送的安全与效率。

## 2 案例分析

以某天然气管管理处某站“6·3”雷击事件为例，该站场作为一个典型的大型油气长输管道站场，遭遇了严重的雷击事件后，采取了一系列优化策略进行整改与升级，从而显著提升了站场的防雷电及防爆电气系统效能，有效预防了类似事故的再次发生，充分展示了整合优化策略的实用价值与成效。

事件中，此站于2017年6月3日凌晨遭遇雷暴天气，导致多项重要设备受损，包括流量计算机、UPS通信板、火灾感温电缆调制器以及通信服务器等关键部件。这不仅影响了站场的正常运行，还突显出站场在雷电防护方面的薄弱环节。针对此次事件，此站采取了以下整合优化策略：①系统设计优化：按照风险最小化原则，重新规划了设备的防爆等级与雷电防

护等级，优化了电气线路布局，确保系统既符合防爆要求又具备抵御雷电的能力；②技术融合：部署了防爆型电气设备与智能雷电预警系统，如防爆断路器、隔离变压器与集成雷电防护器，并结合物联网技术进行实时监控预警，提升了对雷电活动的响应速度和故障的早期识别能力；③风险评估与管理：建立了常态化的风险评估机制，定期进行防爆区划分、雷电风险评估，创建风险数据库，制定应急预案，并通过持续监控与评估不断调整防护措施。

实施上述策略后，此站取得了显著成效：①降低事故率：电气火灾与爆炸事故的发生率明显下降，这归功于防爆电气系统与雷电防护的紧密整合，减少了因电气故障引发的事故风险；②成功防雷暴：在之后的多次雷暴天气中，此站成功避免了重大安全事故的发生，证明了优化后的系统在实际雷电防护上的有效性，特别是在极端气候条件下的稳定性与可靠性；③系统恢复能力增强：在6月4日，所有因雷击造成的故障得到修复，此站恢复正常生产，显示了优化后系统的快速恢复力和维护效率。

通过上述雷电防护与防爆电气系统整合策略的实施，此站不仅显著增强了雷电防护能力，降低了安全事故风险，还在实战中验证了策略的切实可行性和有效性，为相似站场提供了宝贵的经验参考和实践模式，强调了系统性、前瞻性和科学防雷电防护措施在油气长输站场安全运维中的关键作用。

### 3 实施建议与未来展望

#### 3.1 实施建议

为了全面提升防爆电气系统与雷电防护的综合效能，本节提出的实施建议侧重于三个核心领域：优化合作模式、强化人员培训和维护检测体系的完善。首要倡议构建跨学科协作，将电气工程、材料科学、气象学及信息技术等多元智慧融合，形成创新联盟，旨在催生更高效与信赖度的雷电防护技术解决方案。其次，高度重视人员能力建设，实行定期的培训计划，涵盖操作维护人员的安全认知、专业知识与应急反应技巧，通过应急模拟、线上课程等多样化培训手段，融合现代技术，增强人员的危险辨识读与应对能力。最后，建立严格的维护检测机制，采用在线监控等先进工具实时跟踪设备运行状态，确保隐患早发现早处理，通过定期零件更新实施预见性维护策略，延长设备寿命，巩固防护体系，确保长期稳定运行，为安全护航。

#### 3.2 未来技术趋势

展望未来，防爆电气系统与雷电防护技术的进化

轨迹清晰描绘出一幅以智能化、材料革新与系统集成为主轴心的宏伟蓝图。智能化与自动化进程的飞速跃进，依托于人工智能与机器学习技术的日益精熟稔，正赋予雷电防护系统前所未有的学习与预判知能力——可以自我解析雷电行为模式，预先发出警报，智能化应对，将防护的精确度与效率推向新高点，并显著减少对人工干预的依赖。

材料科学领域，特别是纳米材料的突破性应用，正重塑防爆设备的创新疆界。这些革命性材料的引入显著减轻了设备的重量负担，增强了耐用性，而且极大强化其抗爆性和防腐蚀性，为雷电防护设定全新的防护效能基准。

此外，数字化转型的浪潮中，物联网技术的蓬勃兴起促使系统间的无缝对接与数据流通成为常态。搭建起全链条覆盖的安全管理平台，实现了数据共享的优化，极大增强了监控的敏锐度与决策的精准性，确保站场运营的每个步骤紧密协同，整体趋向智能化与灵活化，为长输管道站场的高效稳定运行铺设了坚实的基石。

总之，未来的防爆电气系统与雷电防护策略将以智能化、轻量化、高效化为目标，充分利用科技进步带来的优势，推动防护能力的全面提升，为长输管道站场的安全稳定运行提供坚实保障。

### 4 结束语

随着科学技术的不断进步与行业规范的日益精细，长距离管道站场的防爆电气系统与雷电防护技术的集成优化已逐渐成为保障能源安全输送的命脉中的核心要素。凭借持续不断的科技创新与管理模式的精进优化，我们能够显著削减安全隐患，为国家的能源战略部署提供一个稳固的安全堡垒，确保能源血脉的顺畅与国家战略的平稳推进。

#### 参考文献：

- [1] 陈晓雷.VOCs治理系统防爆电气设计探讨与应用[J]. 中国环保产业,2023,(03):55-58.
- [2] 董常龙,马倩倩.天然气行业电气系统安全运行技术与应用探析[J]. 电器工业,2022,(04):71-74.
- [3] 沈俊杰.天然气管道站雷电防护技术研究[J]. 农业灾害研究,2022,12(04):133-135.
- [4] 刘春艳.天然气调压站防爆设计探讨[J]. 上海煤气,2017,(03):1-4.

#### 作者简介：

夏照江(1986.07—)，男，汉族，江苏邳州人，本科，工程师，研究方向：电气仪表，输气技术。